

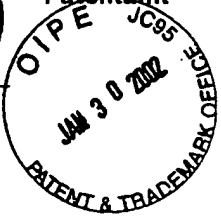
09/100,838



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets



Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterla-
gen stimmen mit der
ursprünglich eingereichten
Fassung der auf dem näch-
sten Blatt bezeichneten
europäischen Patentanmel-
dung überein.

The attached documents
are exact copies of the
European patent application
described on the following
page, as originally filed.

Les documents fixés à
cette attestation sont
conformes à la version
initialement déposée de
la demande de brevet
européen spécifiée à la
page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

97830290.9

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

N.A.S. Kettie

N. HAAG
HAGUE
HAYE, LE

09/06/98



Europäisches
Patentamt

European
Patent Office

Office européen
des brevets

**Blatt 2 der Bescheinigung
Sheet 2 of the certificate
Page 2 de l'attestation**

Anmeldung Nr.:
Application no.: 97830290.9
Demande n°:

Anmeldetag:
Date of filing: 19/06/97
Date de dépôt:

Anmelder:
Applicant(s):
Demandeur(s):
SGS-THOMSON MICROELECTRONICS s.r.l.
20041 Agrate Brianza (Milano)
ITALY

Bezeichnung der Erfindung:
Title of the invention:
Titre de l'invention:

A hermetically-sealed sensor with a movable microstructure

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed / Priorité(s) revendiquée(s)

Staat:
State:
Pays:

Tag:
Date:
Date:

Aktenzeichen:
File no.
Numéro de dépôt:

Internationale Patentklassifikation:
International Patent classification:
Classification internationale des brevets:

G01P15/08, G01P1/02

Am Anmeldetag benannte Vertragsstaaten:
Contracting states designated at date of filing: AT/BE/CH/DE/DK/ES/FI/FR/GB/GR/IE/IT/LI/LU/MC/NL/PT/SE
Etats contractants désignés lors du dépôt:

Bemerkungen:
Remarks:
Remarques:

The title of the application in Italian reads as follows :
"Sensore a microstruttura mobile chiuso ermeticamente".

La presente invenzione riguarda un sensore a microstruttura mobile, ed in modo particolare un sensore secondo il preambolo della prima rivendicazione.

I sensori a microstruttura mobile, come ad esempio i sensori inerziali in grado di misurare una grandezza fisica correlata ad un movimento del sensore e di produrre un segnale di uscita funzione di tale grandezza, sono utilizzati in diverse applicazioni, come nel settore automobilistico, per il controllo di vari dispositivi, quali i cuscini di sicurezza (air bag), l'impianto frenante anti-slittamento (ABS), le sospensioni attive, oppure in altri settori quali l'elettronica di consumo, gli elaboratori elettronici, e simili. I sensori a microstruttura mobile sono realizzati in scala microscopica in una piastrina (chip) di materiale semiconduttore; tali sensori comprendono un elemento sensibile in grado di produrre un segnale elettrico correlato al movimento di una microstruttura mobile rispetto ad una superficie della piastrina.

Nei sensori a microstruttura mobile, l'elemento sensibile deve essere opportunamente protetto racchiudendolo in una struttura ermetica in modo da assicurare il suo funzionamento in un ambiente controllato; ciò consente alla microstruttura dell'elemento sensibile, che ha una massa molto piccola, di muoversi con una bassa resistenza ed uno smorzamento minimo, in modo da garantire una buona sensibilità del sensore. Tali

sensori includono inoltre una circuiteria di elaborazione del segnale elettrico generato dall'elemento sensibile, la quale richiede a sua volta di essere incapsulata in un apposito contenitore (package), che protegge la circuiteria di elaborazione dalle condizioni ambientali esterne garantendo il suo corretto funzionamento.

Una tecnica nota per proteggere un sensore a microstruttura mobile consiste nell'incapsulare l'elemento sensibile e la circuiteria di elaborazione in un contenitore ermetico, ad esempio ceramico o metallico; in tale modo, è possibile integrare l'elemento sensibile e la circuiteria di elaborazione nella stessa piastrina di materiale semiconduttore. Questa tecnica risulta tuttavia estremamente costosa, il che si traduce in un costo elevato del prodotto finale.

Una diversa tecnica nota consiste nel realizzare una struttura cava in scala microscopica (microcavità) che alloggia l'elemento sensibile. Questo metodo di isolamento comporta la microlavorazione di una piastrina di silicio o vetro che è poi connessa alla piastrina su cui è realizzato l'elemento sensibile, tramite ad esempio una tecnica di collegamento anodico (anodic bonding); tale tecnica consente di utilizzare contenitori plastici standard, di costo contenuto, per l'incapsulamento del prodotto finale. La soluzione nota sopra descritta risulta tuttavia piuttosto

10
800

complessa e costosa. Inoltre, tale tecnica non consente l'integrazione nella stessa piastrina dell'elemento sensibile e della circuiteria di elaborazione, in quanto la fase di collegamento richiede che le superfici da unire siano perfettamente planari (con una rugosità picco-valle dell'ordine delle centinaia di Å); la piastrina contenente l'elemento sensibile e quella contenente la circuiteria di elaborazione sono in genere disposte affiancate e sono collegate elettricamente tramite appositi fili metallici.

Comunemente, gli elementi sensibili dei sensori a microstruttura mobile sono realizzati in grande numero in più aree identiche di una fetta (wafer) di materiale semiconduttore, che sono successivamente separate tramite un'apposita operazione di taglio. Il taglio è effettuato in genere con una sega diamantata (diamond blade saw) ad alta velocità raffreddata in acqua. Un ulteriore inconveniente dei sensori noti è costituito dal fatto che durante la fase di asciugatura dell'acqua utilizzata per il raffreddamento della lama si può verificare un fenomeno di incollaggio permanente (sticking o stiction) della microstruttura mobile ad una superficie sottostante della piastrina di materiale semiconduttore. Questo fenomeno fisico rende il sensore inutilizzabile.

Scopo della presente invenzione è di ovviare ai suddetti inconvenienti. Per raggiungere tale scopo è previsto un

sensore a microstruttura mobile come descritto nella prima rivendicazione.

Il sensore a microstruttura mobile in accordo con la presente invenzione è particolarmente compatto, semplice ed economico.

Tale sensore permette di utilizzare eventualmente un contenitore di tipo plastico, quindi estremamente economico, per l'incapsulamento del prodotto finale.

Il processo di realizzazione del sensore della presente invenzione non richiede alcuna operazione di microlavorazione di un ulteriore wafer di silicio o di vetro e la sua connessione al wafer su cui sono realizzati gli elementi sensibili. Inoltre, entrambe le piastrine di materiale semiconduttore utilizzate nella struttura della presente invenzione contengono elementi attivi (rispettivamente, l'elemento sensibile e la circuiteria di elaborazione) per cui non si ha alcuno spreco di materiale.

Ulteriori caratteristiche e vantaggi del sensore a microstruttura mobile secondo la presente invenzione risulteranno dalla descrizione di seguito riportata di una sua forma di realizzazione preferita, data a titolo indicativo e non limitativo, con riferimento all'unica figura allegata (Fig.1) che illustra tale sensore in una vista schematica parziale in sezione.

La figura mostra un sensore a microstruttura mobile 100,

costituito in particolare da un sensore inerziale comprendente un elemento sensibile 105 in grado di rilevare una grandezza fisica correlata all'inerzia di una o più microstrutture mobili e di produrre un segnale elettrico corrispondente.

5 L'elemento sensibile 105 include ad esempio una struttura micromeccanica (Micro Electro Mechanical Structure, o MEMS) realizzata su una superficie superiore di una piastrina di materiale semiconduttore 110, tipicamente silicio. In genere, l'elemento sensibile 105 presenta una massa, cosiddetta
10 sismica, ancorata alla piastrina 110 in punti prestabiliti e mobile rispetto alla stessa, il cui movimento è convertito in un opportuno segnale elettrico. Ad esempio, tale massa sismica costituisce un primo elettrodo di un condensatore, il cui secondo elettrodo è previsto sulla piastrina 110; il
15 movimento della massa sismica provoca una variazione della capacità del condensatore che, a sua volta, è misurata da un apposito circuito. Il sensore 100 è ad esempio un accelerometro, un sensore di velocità angolare (giroscopio) o un sensore di vibrazione, in cui la microstruttura
20 dell'elemento sensibile 105 si muove per effetto dell'accelerazione lineare/angolare o della velocità angolare di un sistema (ad esempio un'automobile) su cui lo stesso è montato, consentendo di misurare la grandezza fisica desiderata; in forme di realizzazione alternative della
25 presente invenzione, il sensore è di tipo risonante, in cui

la microstruttura mobile dell'elemento sensibile vibra ad una frequenza che varia in funzione della grandezza da rilevare, e simili.

L'elemento sensibile 105 è chiuso all'interno di una
5 struttura cava ermetica 115 che protegge l'elemento sensibile 105 da particelle microscopiche e da danni derivanti dalle fasi di assemblaggio, oltre a garantisce la tenuta di un gas interno (ad esempio aria o azoto, tipicamente a pressione inferiore a quella atmosferica) per la regolazione dello
10 smorzamento della microstruttura mobile dell'elemento sensibile 105. Nel sensore 100 della presente invenzione, la struttura cava ermetica 115 è delimitata lateralmente da una parete metallica 120 (realizzata ad esempio in Alluminio, in Nichel, in Rame, e simili), disposta sulla superficie
15 superiore della piastrina 110 attorno all'elemento sensibile 105 e la cui forma (ad esempio circolare o rettangolare) varia secondo la forma dell'elemento sensibile 105. La struttura cava ermetica 115 è chiusa superiormente tramite un'ulteriore piastrina di materiale semiconduttore 125 (avente una
20 dimensione almeno uguale a quella della cavità ermetica 115) che è fissata sulla parete 120. Nella piastrina di materiale semiconduttore 125 è integrata una circuiteria di elaborazione 130 per il segnale elettrico prodotto dall'elemento sensibile 105, in grado ad esempio di amplificare, controllare,
25 compensare e calibrare tale segnale. Si noti che,

vantaggiosamente, la microstruttura mobile (chiusa in una cavità metallica) risulta schermata da interferenze di natura elettromagnetica, ad esempio collegando la piastrina 125 ad un terminale di riferimento, o massa.

5 Sulla superficie superiore della piastrina 110, che è rivestita con uno strato isolante 135 (tipicamente biossido di silicio), sono ricavati elettrodi di contatto costituiti da una o più piazzole conduttive (pad) 140 e 142 (quattro nell'esempio illustrato in figura) disposte all'interno della
10 struttura cava ermetica 115 e da una o più piazzole conduttive 145 (due nell'esempio illustrato in figura) disposte all'esterno della struttura cava ermetica 115. Analogamente, sulla superficie inferiore della piastrina 125, che è rivestita con uno strato isolante 150, sono ricavati elettrodi
15 di contatto costituiti da uno o più pad 155 e 156 (quattro nell'esempio illustrato in figura). Ciascuno dei pad 155, 156 realizzato sulla piastrina 125 è disposto affacciato ed è collegato ad un pad corrispondente 140, 142 realizzato sulla piastrina 110. I pad 140 sono connessi elettricamente
20 all'elemento sensibile 105 per trasmettere il segnale elettrico generato dall'elemento sensibile 105 ai pad 155 corrispondenti e quindi alla circuiteria di elaborazione 130; il collegamento tra l'elemento sensibile 105 ed i pad 140 è ad esempio ottenuto tramite diffusioni a bassa resistenza
25 realizzate nella piastrina di materiale semiconduttore 110

(prima o dopo la crescita di uno strato epitassiale) oppure tramite connessioni metalliche ad un livello inferiore a quello su cui è realizzata la parete metallica 120. Il segnale elettrico elaborato dalla circuiteria 130 è trasferito ai pad 142 tramite i pad 156 corrispondenti. I pad 142 sono connessi elettricamente in modo analogo ai pad 145, al fine di trasmettere il segnale elettrico elaborato ad un circuito esterno. La presente invenzione si presta comunque ad essere realizzata anche con diverse modalità di collegamento elettrico tra la piastrina contenente l'elemento sensibile e la piastrina contenente la circuiteria di elaborazione. Ad esempio, gli elettrodi di contatto collegati all'elemento sensibile sono disposti all'esterno della cavità ermetica e gli elettrodi di contatto collegati alla circuiteria di elaborazione sono disposti sulla superficie superiore della piastrina relativa e sono quindi collegati tramite fili metallici.

Il sensore 100 descritto sopra è prodotto partendo da un primo wafer di materiale semiconduttore su una superficie superiore del quale sono realizzati in grande numero gli elementi sensibili 105, tramite tecniche note di microlavorazione (micromachining). Sull'intera superficie superiore del wafer è depositato uno strato metallico di Alluminio (con uno spessore tipicamente di $1\mu\text{m}$), nel quale sono definiti, con note tecniche di mascheratura e di attacco

selettivo, i pad 140,142,145 ed una cornice inferiore 160 utilizzata (come descritto nel seguito) per realizzare la parete metallica 120; il wafer è quindi ricoperto con lo strato isolante 135, in cui sono realizzate in modo analogo aperture, o finestre (windows), in corrispondenza dei pad 140,142,145 e della cornice inferiore 160. Preferibilmente, sui pad 140,142,145 e sulla cornice inferiore 160 è depositato un sottile strato (flash) di Oro, che proteggere dall'ossidazione e migliora la qualità della saldatura.

In un secondo wafer, sono realizzate in grande numero con note tecniche di integrazione le circuiterie di elaborazione 130 corrispondenti agli elementi sensibili 105. In modo analogo a quanto descritto sopra, sono quindi formati i pad 155,156 ed una cornice superiore 165 utilizzata (come descritto nel seguito) per definire la parete metallica 120. La presente invenzione si presta comunque ad essere realizzata anche formando la parete metallica 120 interamente su un solo wafer.

In una forma di realizzazione particolare della presente invenzione, la cornice superiore 165 (o in alternativa la cornice inferiore 160 oppure entrambe le cornici 160 e 165) è sottoposta ad un processo di accrescimento per aumentarne lo spessore (considerazioni analoghe si applicano ai pad 140,142 e 155,156 che devono essere tra loro collegati all'interno della struttura cava ermetica 115). Tale fase

aggiuntiva è utile nel caso in cui l'altezza della parete
metallica 120 ottenuta con il processo sopra descritto (uguale
in genere a $2-3\mu\text{m}$) non sia sufficiente a garantire un
movimento corretto della microstruttura dell'elemento
5 sensibile 105. In particolare, sulla cornice superiore 165
(e sui pad 155 e 156) è cresciuto un rilievo (bump),
costituito ad esempio da Nichel o Rame. Tale bump è
realizzato tramite un processo di crescita non elettrolitica
(electroless). In dettaglio, è depositato uno strato di
10 metallo più nobile, ad esempio Zinco, che impedisce la
formazione sull'Alluminio di strati di ossidi e idrossidi.
Il wafer è quindi immerso in una soluzione chimica
autocatalitica per la crescita di uno strato di Nichel;
infine, è depositato un sottile strato (flash) di Oro, che
15 protegge dall'ossidazione e migliora la qualità della
saldatura. Il processo sopra descritto è particolarmente
economico e flessibile, in quanto è compatibile con la
lavorazione dei wafer per lotti e non richiede nessuna
maschera aggiuntiva. In alternativa, sono utilizzati processi
20 di elettrodeposizione (electroplating), evaporazione
(evaporation), dispensazione (dispensing), e simili.

Il wafer contenente la circuiteria di elaborazione 130
è quindi tagliato per formare le varie piastrine 125. Le
piastrine 125 sono fissate al wafer (non ancora tagliato)
25 contenente gli elementi sensibili 105. In particolare, la

cornice superiore 165 ed i pad 155,156 di ciascuna piastrina 125 sono fissati, rispettivamente, ad una cornice inferiore 160 ed ai pad 140,142 corrispondenti. Preferibilmente, a tale scopo è utilizzato un processo di saldatura, ad esempio per termocompressione, in cui le parti riscaldate sono unite per semplice pressione, o termosonico, che prevede l'applicazione contemporanea di calore e di ultrasuoni; in alternativa, il fissaggio è realizzato con tecniche diverse, ad esempio utilizzando un apposito adesivo.

Al termine delle operazioni sul wafer contenente gli elementi sensibili 105 (e del relativo controllo), tale wafer è tagliato per formare le varie piastrine 110. In questo modo, gli elementi sensibili 105 sono protetti nella struttura cava ermetica 115, per cui non sono danneggiati durante la fase di taglio e non risultano esposti al pericolo di stiction. Ciò consente di ottenere una resa di produzione estremamente elevata.

La realizzazione del sensore è quindi completata tramite operazioni di per sé note e convenzionali. Ciascuna piastrina 110 è fissata su una apposita intelaiatura (frame) per saldatura con una lega a basso punto di fusione, ad esempio piombo-stagno, oppure per incollaggio con un adatto adesivo. I pad 145 sono connessi tramite sottili fili metallici, ad esempio in Oro, ad elettrodi corrispondenti; tipicamente, i fili metallici sono saldati con una lega a basso punto di

5 fusione, da una parte, ai pad 145 e, dall'altra parte, alle
estremità interne degli elettrodi con un procedimento
termosonico. Il complesso così ottenuto è utilizzabile
direttamente nel caso in cui sia inserito in un sistema in
ambiente controllato, come nei controllori di dischi rigidi
(hard-disk driver). In alternativa, il complesso è montato
in un apposito stampo, nel quale è iniettata una materia
plastica allo stato liquido, ad esempio una resina epossidica
termoindurente. Dopo la polimerizzazione della resina, si
10 ottiene un dispositivo che comprende un corpo isolante che
ingloba gli elementi sopra descritti e dal quale sporgono gli
elettrodi per il collegamento ad un circuito esterno. Il
sensore della presente invenzione si presta comunque ad essere
utilizzato anche in dispositivi diversi, ad esempio del tipo
15 a matrice a griglia di sfere (Ball Grid Array, o BGA), e
simili.

Ovviamente al sensore a microstruttura mobile sopra
descritto un tecnico del ramo, allo scopo di soddisfare
esigenze contingenti e specifiche, potrà apportare numerose
20 modifiche e varianti, tutte peraltro contenute nell'ambito di
protezione dell'invenzione, quale definito dalle seguenti
rivendicazioni.

RIVENDICAZIONI

1. Sensore a microstruttura mobile (100) comprendente un elemento sensibile (105), realizzato in una prima piastrina (110) di materiale semiconduttore, per produrre un segnale elettrico funzione di un movimento di almeno una microstruttura mobile rispetto ad una superficie della prima piastrina (110), l'elemento sensibile (105) essendo racchiuso in una struttura cava ermetica (115), una circuiteria di elaborazione (130) per detto segnale elettrico realizzata in una seconda piastrina (125) di materiale semiconduttore,

caratterizzato dal fatto che

la struttura cava ermetica (115) include una parete metallica (120) disposta sulla superficie della prima piastrina (110) attorno all'elemento sensibile (105), la seconda piastrina (125) essendo fissata su detta parete (120).

2. Sensore (100) secondo la rivendicazione 1, in cui la parete metallica (120) è realizzata sostanzialmente in Nichel.

3. Sensore (100) secondo la rivendicazione 1 o 2, ulteriormente comprendente almeno una prima piazzola conduttiva (140) realizzata sulla superficie della prima piastrina (110) all'interno della struttura cava ermetica (115) e collegata elettricamente all'elemento sensibile (105), ciascuna prima piazzola (140) essendo connessa ad una seconda piazzola conduttiva (155) affacciata realizzata su una

superficie della seconda piastrina (125) per trasmettere detto segnale elettrico alla circuiteria di elaborazione (130).

5 4. Sensore (100) secondo la rivendicazione 3, ulteriormente comprendente almeno una terza piazzola conduttiva (142) realizzata sulla superficie della prima piastrina (110) all'interno della struttura cava ermetica (115), ciascuna terza piazzola (142) essendo connessa ad una quarta piazzola conduttiva (156) affacciata realizzata sulla superficie della seconda piastrina (125) per ricevere un
10 segnale elettrico elaborato dalla circuiteria di elaborazione (130).

15 5. Sensore (100) secondo la rivendicazione 4, ulteriormente comprendente almeno una quinta piazzola conduttiva (145) realizzata sulla superficie della prima piastrina (110) all'esterno della struttura cava ermetica (115), ciascuna quinta piazzola (145) essendo collegata elettricamente ad una terza piazzola (142) corrispondente per trasmettere il segnale elettrico elaborato all'esterno.

20 6. Sensore (100) secondo una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 5, in cui il sensore (100) è di tipo inerziale.

7. Dispositivo elettronico comprendente il sensore (100) di una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 6 ed un contenitore plastico in cui è incapsulato il sensore (100).

25 8. Metodo per produrre sensori a microstruttura mobile

(100) comprendente i passi di:

a) realizzare in una prima fetta di materiale semiconduttore una pluralità di elementi sensibili (105) per produrre un segnale elettrico funzione di un movimento di almeno una microstruttura mobile rispetto ad una superficie della prima fetta,

b) realizzare una prima cornice metallica (160) sulla superficie della prima fetta attorno a ciascuno degli elementi sensibili (105),

c) realizzare in un seconda fetta di materiale semiconduttore una pluralità di circuiterie di elaborazione (130) per detto segnale elettrico,

d) realizzare una seconda cornice metallica (165) su una superficie della seconda fetta in corrispondenza di ciascuna delle prime cornici (160),

e) tagliare la seconda fetta per ottenere una pluralità di piastrine di materiale semiconduttore (125) ciascuna contenente una delle circuiterie di elaborazione (130) ed una delle seconde cornici (165),

f) fissare la seconda cornice (165) di ogni piastrina (125) alla prima cornice corrispondente (160) per racchiudere l'elemento sensibile (105) relativo in una struttura cava ermetica (115).

9. Metodo secondo la rivendicazione 8, in cui il passo f) è realizzato tramite un processo di saldatura.

10. Metodo secondo la rivendicazione 8 o 9, ulteriormente comprendente prima del passo e) il passo di accrescere un bump metallico sulle seconde cornici (165).

5 11. Metodo secondo la rivendicazione 10, in cui il passo di accrescere il bump metallico è realizzato tramite un processo di crescita non-elettrolitica.

RIASSUNTO

SENSORE A MICROSTRUTTURA MOBILE CHIUSO ERMETICAMENTE

5 Sensore a microstruttura mobile (100) comprendente un
elemento sensibile (105), realizzato in una prima piastrina
(110) di materiale semiconduttore, per produrre un segnale
elettrico funzione di un movimento di almeno una
microstruttura mobile rispetto ad una superficie della prima
10 piastrina (110), l'elemento sensibile (105) essendo racchiuso
in una struttura cava ermetica (115), una circuiteria di
elaborazione (130) per detto segnale elettrico realizzata in
una seconda piastrina (125) di materiale semiconduttore, in
cui la struttura cava ermetica (115) include una parete
15 metallica (120) disposta sulla superficie della prima
piastrina (110) attorno all'elemento sensibile (105), la
seconda piastrina (125) essendo fissata su detta parete (120).

(Fig.1)

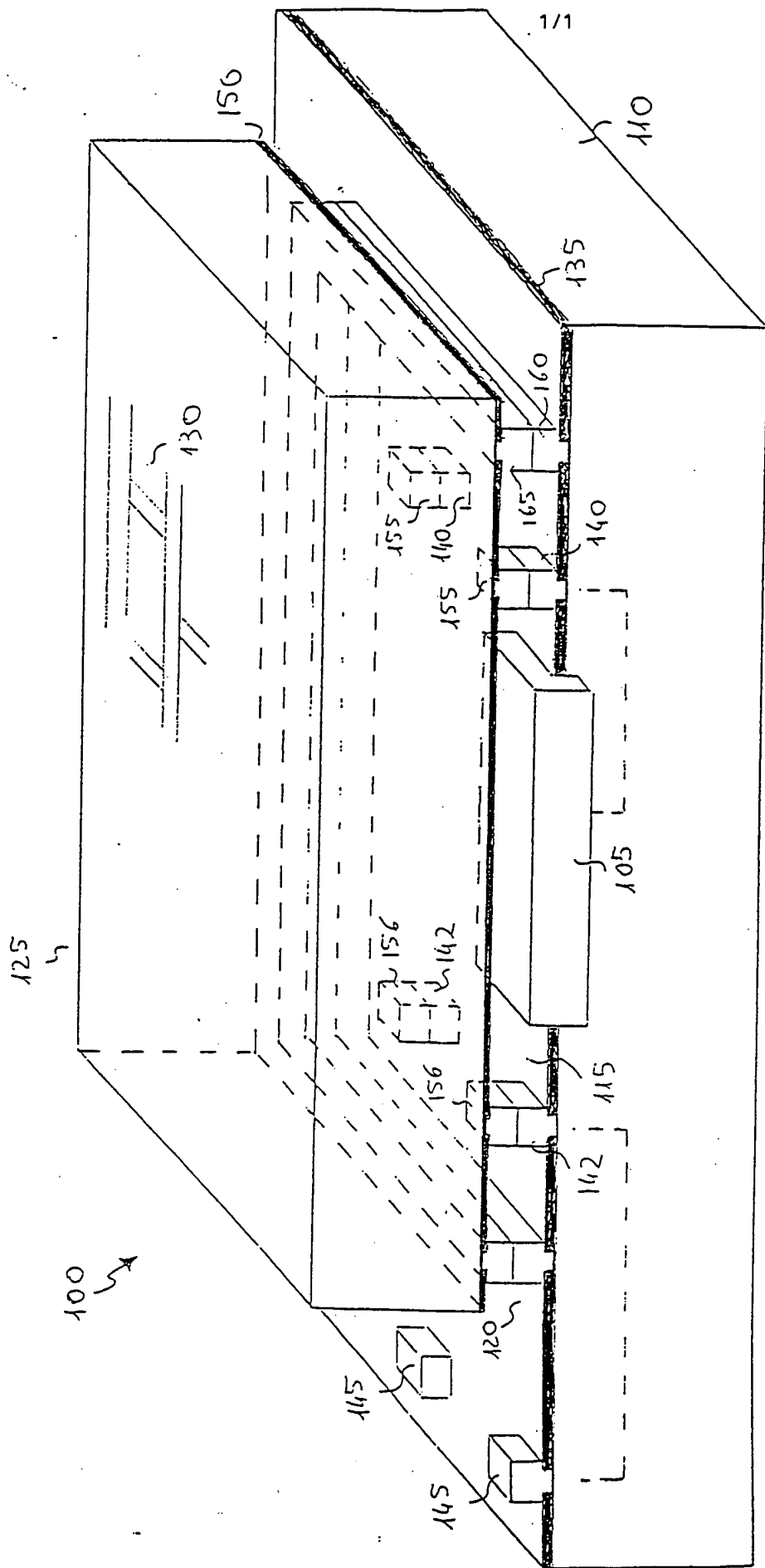


Fig. 1